

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
24 octobre 2002 (24.10.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 02/085080 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : H05G 2/00

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];  
31/33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR02/01306

(22) Date de dépôt international : 16 avril 2002 (16.04.2002)

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : SCHMIDT,  
Martin [FR/FR]; 16, avenue Victor Hugo Bât 7a, F-92170  
Vanves (FR). SUBLEMONTIER, Olivier [FR/FR];  
11-13, rue des Roses, F-92260 Fontenay Aux Roses (FR).  
CECCOTTI, Tiberio [FR/FR]; 19, rue de la Butte aux  
Cailles, F-75013 Paris (FR). SEGERS, Marc [FR/FR];  
Bât 6C Appt 84, 6, avenue des Cevennes, Résidence Jardin  
des Lys, F-91940 Les Ulis (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

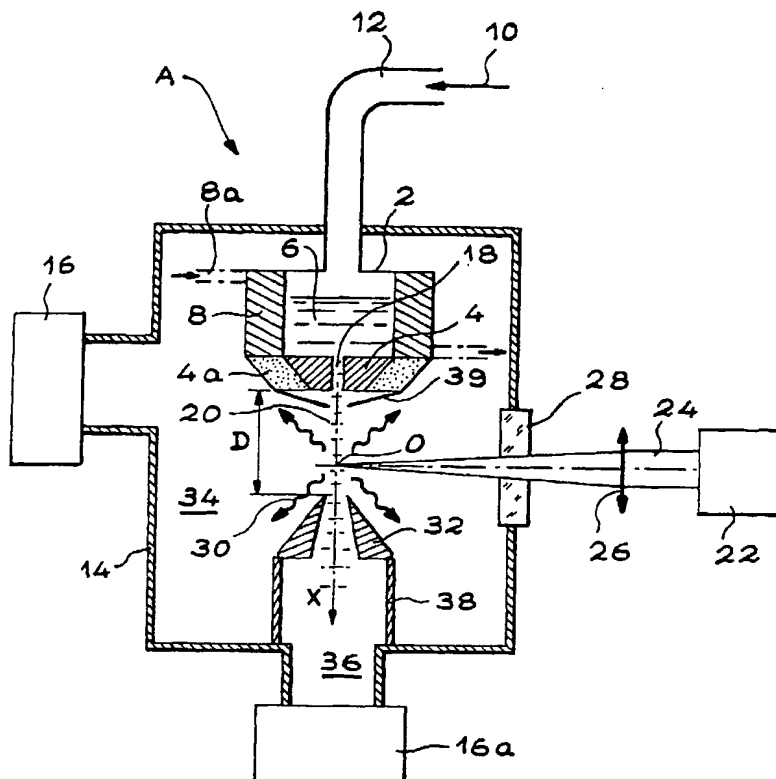
01/05241

18 avril 2001 (18.04.2001) FR

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR GENERATING EXTREME ULTRAVIOLET RADIATION IN PARTICULAR FOR LITHOGRAPHY

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE GENERATION DE LUMIERE DANS L'EXTREME ULTRAVIOLET NOTAMMENT POUR LA LITHOGRAPHIE



(57) Abstract: The invention concerns a method which consists in causing a laser beam (24) to interact with a dense mist (20) of micro-droplets of a liquefied rare gas. In particular liquid xenon (6) is used, the latter being produced by liquefying a gaseous xenon (10) whereby the liquid xenon is pressurised to a pressure of  $5 \times 10^5$  Pa to  $50 \times 10^5$  Pa, and said liquid xenon is maintained at a temperature between  $-70^\circ\text{C}$  and  $-20^\circ\text{C}$ , said pressurised liquid xenon is injected into a nozzle (4) whereof the minimum internal diameter ranges between  $60\ \mu\text{m}$  and  $600\ \mu\text{m}$ , said nozzle emerging into a zone where the pressure is not less than  $10^{-1}$  Pa.

(57) Abrégé : Selon l'invention, on fait interagir un faisceau laser (24) et un brouillard dense (20) de micro-gouttelettes d'un gaz rare liquéfié. On utilise en particulier le xénon liquide (6), on produit ce dernier par liquéfaction de xénon gazeux (10) avec lequel on pressurise le xénon liquide à une pression de  $5 \times 10^5$  Pa à  $50 \times 10^5$  Pa, et l'on maintient ce xénon liquide à une température de

[Suite sur la page suivante]

WO 02/085080 A1



(74) **Mandataire :** LEHU, Jean; c/o Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) **États désignés (national) :** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés (régional) :** brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet

eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE GÉNÉRATION DE LUMIÈRE DANS  
L'EXTRÊME ULTRAVIOLET NOTAMMENT POUR LA LITHOGRAPHIE.

DESCRIPTION

5    **DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de génération de lumière dans le domaine extrême ultraviolet, notamment destinés à la lithographie au moyen d'une telle lumière.

10           L'accroissement de la puissance des circuits intégrés et l'intégration de fonctions de plus en plus nombreuses dans un faible espace requièrent un saut technologique important dans la technique de lithographie, traditionnellement utilisée pour la  
15   fabrication de ces circuits intégrés.

L'industrie de la micro-électronique prévoit notamment l'utilisation d'un rayonnement du domaine extrême ultraviolet (EUV) pour l'insolation de résines photosensibles afin d'atteindre, sur le  
20   silicium, des dimensions critiques inférieures ou égales à 50 nanomètres.

Pour produire ce rayonnement, dont la longueur d'onde est comprise entre 10 nm et 15 nm, de nombreuses techniques ont déjà été proposées. En  
25   particulier, l'irradiation d'une cible par un rayonnement laser focalisé semble être la technique la plus prometteuse pour obtenir à moyen terme de bonnes performances à la fois en termes de puissance moyenne, de stabilité spatiale et temporelle, et de fiabilité.

30           L'optimisation de ces performances est obtenue en utilisant comme cible un jet de brouillard

dense et directif de gouttelettes micrométriques. En outre, l'utilisation de cette cible produit très peu de débris, et la directivité du jet permet de réduire considérablement la quantité de débris produits  
5 indirectement par érosion de la buse émettant le jet, érosion qui est provoquée par le plasma formé par l'impact du rayonnement laser sur la cible.

#### ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

On connaît diverses techniques de  
10 production d'un rayonnement EUV, par exemple celle qui consiste à irradier par un faisceau laser une cible placée sous vide.

En particulier, dans le domaine de la lithographie des circuits intégrés, il faut trouver une  
15 cible qui soit susceptible d'être irradiée par un laser pour la production de lumière dans l'extrême ultraviolet et qui soit compatible avec une exploitation industrielle de la lithographie.

La génération d'un rayonnement EUV, par  
20 irradiation d'un jet dense d'agrégats (en anglais « clusters ») de xénon sur lequel on focalise un faisceau émis par un laser nanoseconde, est connue par les documents suivants :

[1] Paul D. Rockett et al., « A high-power  
25 laser-produced plasma UVL source for ETS », 2<sup>nd</sup> International Workshop on EUV Lithography (San Francisco, octobre 2000)

[2] Kubiak et Richardson, « Cluster beam targets for laser plasma extreme ultraviolet and soft  
30 x-ray sources », US 5 577 092 A.

On se reportera aussi au document suivant :

[3] Haas et al., « Energy Emission System for Photolithography », WO 99 51357 A.

Dans ce document [3], on ne mentionne pas précisément l'utilisation d'un jet d'agrégats de xénon  
5 comme cible mais on suppose clairement que la formation de la cible est obtenue par agrégation d'atomes d'un gaz.

On rappelle que les agrégats de xénon sont des grains de taille moyenne bien inférieure à 1  $\mu\text{m}$ ,  
10 qui sont obtenus par agrégation de xénon gazeux lors d'une expansion adiabatique de celui-ci à travers une buse, dans une enceinte à vide.

L'irradiation de ces agrégats par un faisceau laser dans le proche infrarouge produit un  
15 plasma qui émet un rayonnement plus énergétique dont la longueur d'onde est située dans l'extrême ultraviolet. Le couplage entre le laser et la cible, et donc l'efficacité de ce processus de conversion, peuvent être importants dans le cas de l'irradiation d'un jet  
20 d'agrégats de xénon dans la gamme de longueur d'onde d'intérêt.

Une partie importante de la lumière laser est ainsi absorbée, ce qui favorise la création d'un plasma par échauffement des agrégats.

25 De plus, la densité locale des atomes dans chaque agrégat est relativement élevée, ce qui fait donc intervenir un grand nombre d'atomes. En outre, le grand nombre d'agrégats comportant un nombre moyen d'atomes suffisamment élevé, et se trouvant dans la  
30 zone de focalisation du faisceau laser, rend l'émission dans l'extrême ultraviolet relativement intense.

Par contre, des débris matériels importants peuvent résulter de l'érosion de la buse lorsque celle-ci est placée trop près de la zone illuminée par le laser.

5 En outre, la proximité de la zone illuminée et de la buse peut provoquer un échauffement de celle-ci, détériorant les caractéristiques du jet.

L'utilisation d'un jet, qui constitue une cible renouvelable, permet de travailler à haute  
10 cadence (de l'ordre de 10 kHz et au-delà), ce qui est parfaitement adapté aux appareils de lithographie pour la fabrication de circuits intégrés à très haut degré d'intégration.

L'utilisation de xénon comme gaz  
15 d'agrégation donne les meilleurs résultats en ce qui concerne l'émission de rayonnement extrême ultraviolet car ce gaz dispose d'un grand nombre de raies d'émission dans la gamme spectrale considérée, notamment entre 13 nm et 14 nm.

20 La source de rayonnement EUV, qui est connue par les documents [1] et [2], présente cependant un certain nombre d'inconvénients que l'on mentionne ci-après.

- Selon ces documents [1] et [2], la densité des  
25 agrégats décroît fortement lorsqu'on s'éloigne de la buse que comporte la source, ce qui est le signe d'une divergence trop importante du jet d'agrégats. C'est pourquoi l'excitation par le faisceau laser doit avoir lieu à proximité immédiate de la buse, ce  
30 qui entraîne une érosion importante de cette buse par l'impact d'ions issus du plasma engendré ou par

décharge électrique. L'érosion de la buse réduit de façon significative sa durée de vie, et donc la fiabilité de la source de rayonnement EUV, et engendre d'importantes quantités de débris, susceptibles de détériorer prématurément les optiques d'un appareil de lithographie utilisant une telle source.

- La mauvaise directivité du jet d'agrégats de xénon induit un phénomène de réabsorption du rayonnement EUV par le jet d'agrégats lui-même, l'interaction avec le laser ayant lieu au centre du jet d'agrégats, ce qui diminue sensiblement l'intensité du rayonnement EUV effectivement utilisable.
- La taille moyenne des agrégats ainsi formés par condensation à partir de xénon gazeux ne peut être au maximum que de l'ordre de quelques centaines de nanomètres et reste dans tous les cas bien inférieure à 1  $\mu\text{m}$  du fait de la méthode de formation utilisée. Or, l'interaction avec un laser impulsif de type YAG, qui est typiquement utilisé pour cette application et dont la durée d'une impulsion est comprise entre 3 ns et 80 ns, est optimale, en terme d'intensité du rayonnement EUV produit, avec des grains de matière ayant une taille moyenne supérieure à 1  $\mu\text{m}$ , et typiquement comprise dans l'intervalle allant de 5  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$ .

On se reportera aussi au document suivant :

[4] Richardson et al., « Water laser plasma x-ray point sources », US 5 577 091 A.

Ce document [4] divulgue une source de rayonnement EUV qui utilise, en tant que cible, un jet

de microcristaux de glace. Il s'agit d'une succession de microcristaux à très haute cadence de répétition où chaque microcristal a typiquement un diamètre moyen supérieur à 50  $\mu\text{m}$ .

5 De tels microcristaux sont trop gros pour que la pénétration du faisceau laser d'excitation soit complète. Une réduction du diamètre de chaque microcristal permet d'améliorer l'interaction avec le laser, mais on réduit alors le nombre d'émetteurs de  
10 photons EUV dans le plasma. La technique décrite dans le document [4] ne satisfait donc pas aux critères d'obtention d'une source de rayonnement EUV suffisamment intense.

On se reportera en outre au document  
15 suivant :

[5] Hertz et al., « Method and apparatus for generating x-ray or EUV radiation » WO 97 40650 A.

On connaît par ce document [5] une autre source de rayonnement EUV, fondée sur l'irradiation  
20 d'un micro-jet continu de xénon liquide. Ce genre de cible présente également l'inconvénient de contenir une quantité de matière beaucoup trop faible pour avoir un nombre suffisant d'émetteurs EUV potentiels. Ceci est dû au diamètre relativement faible (environ 10  $\mu\text{m}$ ) du  
25 jet de xénon liquide.

De plus, les sources connues par les documents [4] et [5] sont peu stables du point de vue de l'intensité. Dans le cas du document [4], il est difficile d'irradier de la même façon chaque  
30 microcristal de glace du fait d'un problème de synchronisation avec le laser. Dans le cas du document



[5], les variations d'intensité EUV sont dues aux instabilités du jet continu de xénon.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention concerne un  
5 générateur de brouillard dense de gouttelettes  
micrométriques d'un gaz rare, en particulier le xénon,  
et plus particulièrement l'utilisation de ce brouillard  
pour la production de lumière dans l'extrême  
ultraviolet (10 nm à 15 nm), par irradiation laser de ce  
10 brouillard dense.

L'invention est fondée sur la production  
d'un jet dense et directif de brouillard de  
gouttelettes micrométriques sous vide, à partir d'un  
gaz rare liquéfié, en particulier le xénon liquide.

15 Les inventeurs ont trouvé que l'utilisation  
de ce gaz rare liquéfié, en particulier le xénon  
liquide, donne les meilleures performances en terme  
d'intensité du rayonnement EUV produit dans un  
intervalle de longueur d'onde allant de 13 nm à 14 nm,  
20 correspondant parfaitement aux caractéristiques des  
optiques réfléchies utilisées dans des photo-répétiteurs  
industriels.

Le jet de brouillard dense de xénon se  
propage dans le vide à une vitesse de l'ordre de  
25 plusieurs dizaines de m/s. La cible est donc renouvelée  
suffisamment rapidement pour permettre l'irradiation de  
cette cible par un laser à impulsions à haute cadence  
de répétition (supérieure ou égale à 10 kHz). Un laser  
de ce type est requis pour obtenir la puissance moyenne

nécessaire à la production industrielle de circuits intégrés à l'aide d'un photo-répéteur industriel.

Par "vide" nous entendons une pression qui est suffisamment faible pour ne pas entraver la  
5 propagation de ce jet, et qui peut être de l'ordre de quelques Pa. Toutefois, pour éviter la réabsorption de la lumière, il faut, comme on le verra plus loin, avoir un vide beaucoup plus poussé que celui qui est nécessaire ici.

10 Dans l'invention, on utilise des moyens cryogéniques afin de produire le gaz rare liquéfié, en particulier le xénon liquide.

Le xénon est acheminé sous forme gazeuse jusqu'à un réservoir jouxtant une buse de sortie. Le  
15 xénon gazeux injecté dans le réservoir y est localement liquéfié par les moyens cryogéniques. La pulvérisation du xénon liquide à la sortie de la buse donne lieu à la formation d'un jet dense et directif de gouttelettes de xénon. Le jet peut être continu ou pulsé par des moyens  
20 électromécaniques ou piézoélectriques. La pression du gaz injecté et la température du liquide contenu dans le réservoir peuvent être réglées.

L'irradiation du jet ainsi formé par un laser focalisé engendre la création d'un plasma  
25 susceptible de présenter un pic d'émission de rayonnement EUV entre 13 et 14 nm, ce rayonnement étant utilisable comme source de lumière pour la lithographie.

La présente invention propose une technique  
30 de génération de rayonnement EUV qui ne présente pas les inconvénients mentionnés plus haut.

Plus généralement, la présente invention concerne un procédé et un dispositif de génération d'un brouillard dense de gouttelettes d'un liquide, ce procédé et ce dispositif étant utilisables pour la production de rayonnement EUV et ayant aussi une grande fiabilité ainsi qu'une grande simplicité, ce qui est essentiel pour une utilisation industrielle.

De façon précise, la présente invention a pour objet un procédé de génération de lumière dans l'extrême ultraviolet par création d'un plasma d'interaction entre un faisceau laser et une cible, ce procédé étant caractérisé en ce que :

la cible est constituée d'un brouillard dense composé de micro-gouttelettes de liquide, ce liquide étant un gaz rare liquéfié, en particulier le xénon liquide, on produit ce liquide par liquéfaction du gaz rare, on pressurise le liquide par ce gaz rare, à une pression comprise dans l'intervalle allant de  $5 \times 10^5$  Pa à  $50 \times 10^5$  Pa dans le cas du xénon, tout en maintenant ce xénon liquide à une température comprise dans l'intervalle allant de  $-70^\circ\text{C}$  à  $-20^\circ\text{C}$ , la pression et la température du gaz étant en outre choisies pour que le gaz rare soit sous forme liquide, on injecte le liquide ainsi pressurisé dans une buse dont le diamètre intérieur minimal est compris dans l'intervalle allant de  $60 \mu\text{m}$  à  $600 \mu\text{m}$ , cette buse débouchant dans une zone où la pression est égale ou inférieure à  $10^{-1}$  Pa, et l'on engendre ainsi, dans la zone, à la sortie de la buse, un brouillard dense et directif de gouttelettes du gaz rare liquéfié dont la taille moyenne est supérieure à  $1 \mu\text{m}$ , en particulier comprise dans

l'intervalle allant de 5  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$  dans le cas du xénon, ce brouillard dense formant un jet qui est dirigé suivant l'axe de la buse, et

on focalise en outre un faisceau laser sur  
5 le brouillard dense ainsi obtenu, ce faisceau laser étant apte à interagir avec ce brouillard dense pour engendrer une lumière dans le domaine extrême ultraviolet.

Selon un mode de mise en œuvre préféré du  
10 procédé objet de l'invention, le gaz rare est le xénon et l'on pressurise le xénon liquide par le xénon gazeux à une pression comprise dans l'intervalle allant de  $15 \times 10^5$  Pa à  $25 \times 10^5$  Pa et l'on maintient ce xénon liquide à une température comprise dans l'intervalle allant de  
15  $-45^\circ\text{C}$  à  $-30^\circ\text{C}$ .

Lorsque le gaz rare est de préférence le xénon, on peut utiliser la lumière engendrée dans le domaine extrême ultraviolet pour l'insolation d'un substrat sur lequel est déposée une couche de résine  
20 photosensible.

La présente invention a également pour objet un dispositif de génération de lumière dans l'extrême ultraviolet par création d'un plasma d'interaction entre un faisceau laser et un brouillard  
25 dense composé de micro-gouttelettes d'un liquide, ce dispositif étant caractérisé en ce que le liquide est un gaz rare liquéfié, en particulier le xénon liquide, et en ce que le dispositif comprend :

- un réservoir destiné à contenir le  
30 liquide,

- des moyens d'injection du gaz rare sous pression dans le réservoir, prévus pour pressuriser, par ce gaz rare, le liquide contenu dans le réservoir et soumettre ce liquide à une pression comprise dans l'intervalle allant de  $5 \times 10^5$  Pa à  $50 \times 10^5$  Pa dans le cas du xénon,

- des moyens de production du liquide contenu dans le réservoir, par liquéfaction du gaz rare qui est injecté dans ce réservoir, le liquide, lorsque le gaz rare est le xénon, étant maintenu à une température comprise dans l'intervalle allant de  $-70^\circ\text{C}$  à  $-20^\circ\text{C}$ ,

- une buse dont le diamètre intérieur minimal est compris dans l'intervalle allant de  $60\ \mu\text{m}$  à  $600\ \mu\text{m}$  et qui est reliée au réservoir,

- une chambre à vide contenant la buse,

- des moyens permettant de faire pénétrer dans la chambre à vide un faisceau laser apte à interagir avec le brouillard,

- des moyens permettant de récupérer la lumière produite, en vue de l'utilisation de cette lumière, et

- des premiers moyens de pompage prévus pour établir dans cette chambre à vide une première pression environ égale ou inférieure à  $10^{-1}$  Pa,

les moyens d'injection et les moyens de production du liquide étant placés dans des conditions de fonctionnement maintenant le gaz rare liquide dans la buse et permettant d'engendrer, dans la chambre à vide, à la sortie de la buse, un brouillard dense et directif de gouttelettes du gaz rare liquéfié dont la

taille moyenne est supérieure à 1  $\mu\text{m}$ , en particulier comprise dans l'intervalle allant de 5  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$  dans le cas du xénon, ce brouillard dense formant un jet qui est dirigé suivant l'axe de la buse.

5                    Selon un mode de réalisation préféré du dispositif objet de l'invention, le gaz rare est le xénon et la pression à laquelle est soumis le xénon liquide contenu dans le réservoir est comprise dans l'intervalle allant de  $15 \times 10^5$  Pa à  $25 \times 10^5$  Pa et la  
10 température à laquelle est maintenu le xénon liquide est comprise dans l'intervalle allant de  $-45^\circ\text{C}$  à  $-30^\circ\text{C}$ .

Le dispositif objet de l'invention peut comprendre en outre :

- une paroi qui délimite une zone  
15 secondaire et qui est pourvue d'un perçage en regard de la buse, ce perçage se trouvant sur l'axe de cette buse, et

- des deuxièmes moyens de pompage prévus pour établir dans cette zone secondaire une deuxième  
20 pression supérieure à la première pression.

De préférence, la paroi comporte un écorceur (en anglais « skimmer ») dont l'axe coïncide avec l'axe de la buse et dont l'orifice constitue le perçage de la paroi.

25                    Le dispositif objet de l'invention peut comprendre en outre un écran thermique qui est percé en regard de la buse pour laisser passer le jet formé par le brouillard dense.

De préférence, la résistivité du matériau  
30 constitutif de la buse est supérieure ou égale à  $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ , la conductivité thermique de ce matériau est

supérieure ou égale à 40 W/mK et l'indice de dureté Vickers du matériau est supérieure ou égale à 8000 N/mm<sup>2</sup>.

Ce matériau est par exemple une céramique.

5            Cette céramique est de préférence du nitrure d'aluminium.

Le dispositif objet de l'invention peut comprendre en outre un collecteur apte à diriger ou à focaliser la lumière engendrée, vers des moyens  
10 d'utilisation de cette lumière.

Ce collecteur peut comporter au moins un réflecteur concave.

Selon un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, ce dispositif comprend  
15 en outre des moyens de protection des optiques susceptibles d'être contenues dans le dispositif vis-à-vis d'éventuels débris.

Selon divers modes de réalisation particuliers, ces moyens de protection sont :

20            - des moyens de circulation du gaz rare de la chambre à vide devant la surface de ces optiques qui est exposée à ces débris,

            - ou des moyens de chauffage de la surface de ces optiques qui est exposée à ces débris,

25            - ou des moyens de polarisation positive d'une couche métallique que comportent ces optiques.

La présente invention concerne en outre un appareil de lithographie de substrats semiconducteurs, cet appareil comprenant :

30            - des moyens de support d'un substrat semiconducteur sur lequel est déposée une couche de

résine photosensible qui est destinée à être insolée suivant un motif déterminé,

- un masque comprenant le motif déterminé sous une forme agrandie,

5                   - un dispositif de génération de lumière dans le domaine extrême ultraviolet conforme à l'invention,

- des moyens optiques de transmission de la lumière au masque, ce dernier fournissant une image du motif sous forme agrandie, et

10                   - des moyens optiques de réduction de cette image et de projection de l'image réduite sur la couche de résine photosensible.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

15                   La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- 20   ▪ la figure 1 est une vue schématique d'un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, pour la génération d'un brouillard dense de gouttelettes de xénon,
- 25   ▪ les figures 2 et 3 sont des vues schématiques d'exemple de buses utilisables dans le dispositif de la figure 1,
- 30   ▪ la figure 4 est une partie du diagramme de phase du xénon, montrant au dessus de la courbe de pression de vapeur saturante le domaine de fonctionnement du dispositif de la figure 1 (hachuré) et le domaine de



fonctionnement optimal de ce dispositif (hachures croisées),

- la figure 5 est une courbe expérimentale représentant l'évolution de l'intensité relative du rayonnement EUV produit en fonction de la température de la buse et du réservoir du dispositif de la figure 1, et
- la figure 6 est une vue schématique d'un appareil de lithographie conforme à l'invention.

#### 10 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Le dispositif A de génération de brouillard conforme à l'invention, qui est schématiquement représenté sur la figure 1, comprend un réservoir 2 et une buse 4. Cette buse 4 est disposée à proximité du réservoir 2 et communique avec celui-ci.

Ce réservoir 2 est destiné à contenir du xénon liquide 6. Des moyens cryogéniques 8 sont prévus pour produire ce xénon liquide 6 à partir de xénon gazeux 10.

De plus, le xénon liquide 6 est pressurisé par ce xénon gazeux 10. Ce dernier est injecté dans le réservoir 2 par l'intermédiaire d'une canalisation 12 et liquéfié par les moyens cryogéniques 8 pour former le xénon liquide 6.

A titre d'exemple, ces moyens cryogéniques comprennent un tuyau 8a qui enserre le réservoir et la buse, seules des portions de ce tuyau étant représentées en traits mixtes sur la figure 1, et ce tuyau est parcouru par un fluide cryogénique, par exemple l'azote.

En outre, ces moyens cryogéniques 8 comprennent des moyens de régulation (non représentés), aptes à maintenir le xénon liquide à une température fixe  $T$ , avec  $-70^{\circ}\text{C} \leq T \leq -20^{\circ}\text{C}$  et de préférence 5  $-45^{\circ}\text{C} \leq T \leq -30^{\circ}\text{C}$ .

Les conditions de température de la buse 4 et du réservoir 2 et les conditions de pression du xénon gazeux 10 injecté dans le réservoir 2 constituent les paramètres essentiels déterminant la taille des 10 gouttelettes de xénon liquide issues de la buse 4.

Cette buse 4 débouche dans une chambre à vide (« vacuum chamber ») 14 qui est munie de moyens de pompage 16 permettant d'y établir une pression très inférieure à la pression du xénon gazeux 10.

15 Le xénon liquide 6, qui arrive dans la buse 4, est ainsi violemment expulsé à travers le trou 18 de celle-ci dans la chambre à vide 14 et y forme un brouillard dense 20, formé par les gouttelettes de xénon liquide.

20 Le brouillard dense 20 forme un jet qui est fortement confiné sur l'axe  $X$  de la buse qui est aussi l'axe du trou 18 de cette buse.

On considère maintenant l'application du brouillard dense 20 de gouttelettes de xénon liquide à 25 la génération d'un rayonnement EUV.

Pour exciter ce brouillard 20, on utilise par exemple un laser 22 impulsif de type YAG, dont l'énergie par impulsion est de préférence comprise entre 0,2 J et 2 J, et dont la durée d'impulsion est de 30 préférence comprise entre 3 ns et 80 ns. En outre, des moyens de focalisation doivent permettre au faisceau

laser d'atteindre, sur la cible, un éclaircissement suffisant pour allumer le plasma, c'est à dire, pour le xénon, un éclaircissement égal ou supérieur à  $5 \times 10^{11}$  W/cm<sup>2</sup>.

Le faisceau 24 fourni par le laser 22 est focalisé, à l'aide d'une lentille 26 ou d'un miroir, sur le brouillard 20.

On précise que, dans l'exemple représenté, le faisceau laser 24 est introduit dans la chambre à vide 14 à travers un hublot 28 transparent à ce faisceau laser et monté sur une paroi de la chambre à vide.

Sur la figure 1, le rayonnement EUV émis par les gouttelettes de xénon liquide est symbolisé par les flèches 30 orientées selon toutes les directions. Toutefois la plus grande quantité de lumière EUV est produite par la demi-sphère de plasma faisant face au faisceau laser, ce plasma résultant de l'interaction entre le brouillard dense et le faisceau laser.

Un ou plusieurs hublots (non représentés) sont prévus sur une ou plusieurs parois de la chambre 14 pour récupérer le rayonnement EUV en vue de son utilisation. Toutefois, on ne sortirait pas du cadre de l'invention en intégrant la source à l'intérieur d'un appareil destiné à utiliser le rayonnement produit, notamment si cet appareil fonctionne dans le même environnement gazeux que la source et permet ainsi de se dispenser du hublot. Dans ce cas, la fonction de l'enceinte 14 est remplie par l'enceinte de l'appareil entier.

Pour que l'interaction entre le brouillard dense 20 et le faisceau laser focalisé 24 produise un

rayonnement EUV 30 optimisé, la taille moyenne des gouttelettes est ajustée en agissant sur la pression du xénon gazeux injecté et sur la température de la buse 4 et du réservoir 2.

5                   Préférentiellement, lorsque le gaz rare est du xénon, la pression du xénon gazeux injecté peut être comprise entre 15 bars ( $15 \times 10^5$  Pa) et 25 bars ( $25 \times 10^5$  Pa) et la température de la buse et du réservoir entre  $-45^\circ\text{C}$  et  $-30^\circ\text{C}$  pour que la taille  
10 moyenne des gouttelettes soit comprise entre 5  $\mu\text{m}$  et 50  $\mu\text{m}$ .

La régulation de la température de la buse et du réservoir peut être réalisée en utilisant conjointement de l'azote liquide et un moyen quelconque  
15 d'apport de chaleur pour maintenir une température donnée. Elle peut aussi être réalisée en utilisant un ou plusieurs modules à effet Peltier ou en utilisant un système réfrigérant classique, ou encore un système fonctionnant en pompe à chaleur.

20                   Pour un fonctionnement optimal de la source de rayonnement EUV produit par interaction du faisceau laser focalisé 24 avec le brouillard 20, le matériau de la buse 4, par laquelle le xénon liquide passe du réservoir 2 à la chambre à vide 14 en étant pulvérisé  
25 en gouttelettes, doit avoir les propriétés physiques mentionnées ci-après.

1) Ce matériau doit être électriquement isolant, pour éviter d'éventuels phénomènes de décharge électrique entre la buse 4 et le plasma, formé par  
30 interaction entre le faisceau laser et la cible (brouillard dense). La résistivité électrique de ce

matériau doit être supérieure à  $10^8 \Omega.cm$  et peut être préférentiellement de l'ordre de  $10^{14} \Omega.cm$ .

2) Ce matériau doit être un bon conducteur thermique, de manière à garder le xénon à l'état  
5 liquide entre l'entrée et la sortie de la buse 4. La conductivité thermique de ce matériau doit être supérieure à 40 W/mK. Préférentiellement, elle peut être de l'ordre de 180 W/mK.

3) Ce matériau doit être suffisamment dur,  
10 pour résister à l'écoulement du xénon liquide à travers la buse 4 et à l'abrasion éventuellement provoquée par le plasma qui résulte de l'interaction entre le faisceau laser et la cible formée par le brouillard dense. Son indice de dureté « Vickers » doit être  
15 supérieur à 8000 N/mm<sup>2</sup> et peut être préférentiellement de l'ordre de 12000 N/mm<sup>2</sup>.

Le matériau utilisé préférentiellement pour la buse est une céramique, de préférence le nitrure d'aluminium (AlN).

20 Cependant d'autres céramiques sont utilisables, par exemple l'alumine ou le nitrure de silicium.

Un diaphragme, c'est à dire une simple membrane munie d'un orifice calibré, ou un écorceur 32  
25 peut être prévu dans la chambre à vide 14 et placé face à la buse 4 en vue de faciliter le pompage de la chambre à vide 14, en séparant celle-ci en deux parties distinctes 34 et 36, l'écorceur se distinguant du diaphragme en ce que sa forme en pointe lui permet de  
30 moins intercepter le rayonnement EUV, ce qui le rend plus avantageux.

Pour ce faire, comme on le voit sur la figure 1, une paroi 38 est prévue pour délimiter la partie 36 par rapport à l'autre partie 34 et l'écorceur 32 prolonge cette paroi 38.

5 L'axe de cet écorceur 32 est confondu avec l'axe X de la buse 4. De plus, cet écorceur est placé à une distance D de la buse 4, qui est comprise entre le voisinage de la zone éclairée et une distance à la buse de 10 mm, et le diamètre intérieur de cet écorceur est  
10 compris entre 1 mm et 4 mm.

La partie 34 de la chambre à vide 14, partie qui contient la buse 4 ainsi que le plasma formé par interaction entre le faisceau laser et le jet de gouttelettes, est pompée, par les moyens de pompage 16,  
15 jusqu'à l'obtention d'une pression inférieure ou égale à  $10^{-1}$  Pa dans cette partie 34. Cette valeur de  $10^{-1}$  Pa est une valeur maximale admissible pour éviter un phénomène de réabsorption trop important du rayonnement EUV par le xénon gazeux présent dans cette partie 34,  
20 ou partie supérieure, de la chambre à vide 14.

La partie du brouillard qui n'a pas subi l'interaction avec le faisceau laser traverse l'écorceur 32 pour être pompée dans la partie 36, ou partie inférieure, de la chambre à vide 14. Dans cette  
25 partie inférieure 36 de la chambre à vide 14, la pression peut atteindre environ 10 Pa sans que le fonctionnement de la source de rayonnement EUV ne soit détérioré.

Il est préférable que le pompage des deux  
30 parties 34 et 36 de la chambre 14 n'engendre aucun hydrocarbure, de manière à ne pas polluer chimiquement

les optiques (non représentées) de collection du rayonnement EUV.

Les moyens 16 de pompage de la partie supérieure 34 de la chambre à vide 14 peuvent être  
5 constitués, par exemple, d'une ou plusieurs pompes de type turbomoléculaire à paliers magnétiques, associées à des pompes primaires sèches.

Les moyens 16a de pompage de la partie inférieure 36 de la chambre à vide 14 peuvent être  
10 constitués d'une ou plusieurs pompes primaires sèches.

De préférence, le matériau de l'écorceur possède les propriétés physiques mentionnées plus haut à propos de la buse 4, afin d'éviter l'érosion de cet écorceur.

15 Le matériau utilisé préférentiellement pour cet écorceur est le nitrure d'aluminium (AlN) ou d'autres céramiques telles que l'alumine ou le nitrure de silicium.

On précise que l'écorceur 32 peut être  
20 remplacé par un simple diaphragme formé par une plaque plane fermant la paroi 38 et pourvue d'un perçage situé sur l'axe X, en regard du trou 18 de la buse 4, cette plaque étant faite du même matériau que l'écorceur.

Un écran thermique 39 peut être prévu entre  
25 la buse 4 et le point 0 d'interaction du faisceau 24 avec la cible 20, de manière à réduire l'échauffement de la buse qui pourrait être induit par le plasma résultant de cette interaction.

De préférence, cet écran thermique 39 est  
30 formé d'un matériau présentant les mêmes caractéristiques physiques que le matériau de la buse

(par exemple AlN), et fixé sur une partie 4a des moyens de génération du brouillard, cette partie étant refroidie par les moyens cryogéniques 8. Cette partie entoure la buse 4 dans l'exemple représenté.

5                   Ainsi l'écran thermique est-il refroidi par les moyens cryogéniques 8. Plus généralement, cet écran thermique est de préférence muni de moyens de refroidissement qui peuvent être les moyens servant à liquéfier le xénon gazeux mais qui peuvent aussi être  
10 distincts de ces derniers.

La géométrie de la buse 4 est l'un des paramètres influant sur la directivité du jet 20. Les figures 2 et 3 représentent respectivement deux exemples de cette géométrie de la buse.

15                   Dans les conditions de pression du xénon gazeux injecté 10 (entre  $5 \times 10^5$  Pa et  $50 \times 10^5$  Pa) et les conditions de température de la buse et du réservoir (entre  $-70^\circ\text{C}$  et  $-20^\circ\text{C}$ ), le diamètre minimal  $d$  de la buse ou plus précisément le diamètre minimal du trou 18  
20 de celle-ci, est compris entre 60  $\mu\text{m}$  et 600  $\mu\text{m}$ .

Dans ces mêmes conditions, le trou 18 de la buse 4 peut présenter globalement la forme d'un cône sur toute la longueur de la buse, comme le montre la figure 2. Le diamètre de ce cône augmente dans le sens  
25 de propagation du jet 20. Le demi-angle au sommet  $\beta$  de ce cône peut être compris entre 1 degré et 10 degrés.

En variante, le trou 18 de la buse 4 présente une forme cylindrique de révolution autour de l'axe X.

30                   Quelle que soit la forme (cylindrique ou conique) du trou de la buse, l'extrémité 18a de ce trou



qui débouche dans la chambre à vide, peut présenter une forme évasée, sur une longueur  $l$  comprise entre 0,2 mm et 2 mm, conduisant à un accroissement local du diamètre de la buse, comme le montre la figure 3. Cette  
5 forme évasée peut suivre (en coupe longitudinale suivant l'axe X) une courbe circulaire, parabolique, hyperbolique, exponentielle ou logarithmique.

Le choix judicieux de la géométrie de la buse 4 permet d'optimiser la directivité du jet sur  
10 l'axe X de propagation de ce jet.

Par exemple, une buse de forme intérieure cylindrique, de diamètre moyen 150 $\mu$ m et comportant un évasement de forme circulaire en son extrémité 18a, sur une longueur  $l$  de 1 mm, permet d'obtenir un brouillard  
15 de gouttelettes présentant un demi-angle de divergence  $\alpha$  d'environ 3 degrés, pour une température de la buse d'environ -35°C et une pression du xénon gazeux injecté d'environ  $20 \times 10^5$  Pa.

Ce demi-angle de divergence est très faible  
20 par comparaison avec celui d'un jet d'agrégats classique (de l'ordre de 20 degrés - voir les documents [1] et [2]) et permet de garder une distance suffisamment importante entre la sortie de la buse et le point d'impact du faisceau laser sur le brouillard,  
25 sans réduire l'intensité du rayonnement EUV produit.

Si cette distance n'est pas suffisamment importante, comme dans le cas d'un jet d'agrégats classique (documents [1] et [2]) où elle est inférieure ou égale à 1 mm, un échauffement intense de la sortie  
30 de la buse est produit par le plasma induit par l'interaction entre le laser et le jet et provoque une

détérioration du jet et une érosion de la buse, érosion qui induit des débris.

Le jet de brouillard dense de gouttelettes de xénon liquide peut être suffisamment directif pour pouvoir conserver une distance comprise entre 1 mm et 5 mm, entre la sortie de la buse et le point d'impact du faisceau laser sur ce jet, ce qui permet d'obtenir une source de rayonnement EUV plus intense et pratiquement exempte de débris matériels.

La source de lumière EUV selon l'invention comporte aussi, de façon préférentielle, un collecteur de lumière EUV. Un tel collecteur est constitué d'une optique réfléchive comme par exemple un ou plusieurs miroirs concaves placés autour de la source, de manière à recevoir le plus possible de rayonnement EUV et à le diriger ou le focaliser vers les moyens d'utilisation de cette lumière. Un tel collecteur, bien connu de l'homme du métier, ne sera pas davantage décrit. Il n'est pas non plus représenté sur les dessins, puisque sa position dépend de la position des moyens d'utilisation de cette lumière, et que ces moyens, eux aussi connus de l'homme du métier, n'ont pas été représentés sur la figure 1.

Enfin, l'invention comporte aussi de manière préférentielle des moyens destinés à protéger les optiques du dispositif (par exemple hublots, dispositifs de focalisation) d'éventuels débris issus de la source, même si la source selon l'invention en génère très peu. Ces moyens peuvent être des moyens pour engendrer un léger soufflage, devant la surface exposée au rayonnement EUV, du gaz ambiant de

l'enceinte , même s'il est sous très faible pression. Ils peuvent aussi être constitués de moyens aptes à générer un léger chauffage de ces optiques. Enfin, ils peuvent aussi être constitués de moyens aptes à générer  
5 une polarisation positive de la couche métallique que ces optiques comportent généralement, à une tension suffisante pour éloigner les débris ioniques, par exemple quelques centaines de volts ou plus.

La figure 4 est une partie du diagramme de  
10 phase du xénon, montrant le domaine de fonctionnement de l'invention (hachuré) dont la pression est comprise entre  $5 \times 10^5$  Pa et  $50 \times 10^5$  Pa et la température entre  $-70^\circ\text{C}$  et  $-20^\circ\text{C}$ , et qui est situé en outre au dessus de la courbe de pression de vapeur saturante. Elle montre  
15 aussi le domaine de fonctionnement optimal (hachures croisées) correspondant à une pression comprise entre  $15 \times 10^5$  Pa et  $25 \times 10^5$  Pa et à une température comprise entre  $-45^\circ\text{C}$  et  $-30^\circ\text{C}$ . La courbe des variations de la pression de vapeur saturante P est exprimée en bars (1  
20 bar étant égal à  $10^5$  Pa), en fonction de la température t exprimée en  $^\circ\text{C}$ .

La partie du diagramme, située en haut et à gauche de cette courbe correspond au xénon liquide (L) tandis que la partie située en bas et à droite  
25 correspond au xénon gazeux (G).

La figure 5 montre, pour un point d'impact du laser situé à 3 mm de la buse et pour une pression de xénon gazeux injecté d'environ  $24 \times 10^5$  Pa, l'évolution de l'intensité relative  $I_r$  du rayonnement  
30 EUV produit, de longueur d'onde voisine de 13,5 nm, en

fonction de la température mesurée  $T$  (en  $^{\circ}\text{C}$ ) du réservoir et de la buse.

Cette figure 5 permet de mettre en évidence la différence d'intensité du rayonnement EUV produit avec un jet d'agrégats de xénon classique et un brouillard dense de gouttelettes de xénon liquide.

La figure 5 se décompose en trois parties distinctes :

- Partie I : La température mesurée du réservoir 2 et de la buse 4 est inférieure à  $-25^{\circ}\text{C}$ . Dans cette partie I, le diagramme de phase du xénon montre clairement que le xénon est liquide dans ces conditions de température et de pression. Le réservoir 2 contient uniquement du xénon liquide. On est donc en présence d'un jet de brouillard dense de gouttelettes de xénon, formées par la pulvérisation du xénon liquide présent en amont de la buse 4. Le flux de rayonnement EUV produit est élevé.

- Partie II : La température mesurée du réservoir et de la buse est comprise entre  $-25^{\circ}\text{C}$  et environ  $-21,3^{\circ}\text{C}$ . Dans cette partie II, le diagramme de phase du xénon montre que le xénon passe de l'état liquide à l'état gazeux. Le réservoir 2 contient à la fois du xénon liquide et du xénon gazeux. Il s'agit la transition de phase liquide-vapeur. Le flux de rayonnement EUV produit baisse.

- Partie III : La température mesurée du réservoir et de la buse est supérieure à  $-21,3^{\circ}\text{C}$ . Dans cette partie III, le diagramme de phase du xénon montre clairement que le xénon est gazeux dans ces conditions de température et de pression. Le réservoir 2 contient

uniquement du xénon gazeux. Dans ces conditions de température et de pression, et avec une buse d'un diamètre de 500  $\mu\text{m}$ , un jet classique d'agrégats de xénon est formé, par condensation du xénon gazeux  
5 présent en amont de la buse. Le flux de rayonnement EUV produit est faible. Il est environ cinq fois plus faible qu'avec un brouillard dense de gouttelettes de xénon.

La figure 6 illustre très schématiquement  
10 l'utilisation du rayonnement EUV obtenu avec un dispositif conforme à l'invention pour la nanolithographie.

L'appareil de nanolithographie schématiquement représenté sur cette figure 6 comprend  
15 un dispositif 40 de génération de rayonnement EUV du genre de la source de rayonnement EUV qui a été décrite en faisant référence à la figure 1.

Néanmoins, cet appareil fonctionnant lui aussi sous très faible pression, il peut avoir certains  
20 éléments en commun avec la source, notamment des moyens de pompage. Il peut aussi comporter des éléments comme le collecteur de lumière EUV, qui fonctionnellement appartient à la source, mais qui peut mécaniquement être fixé sur l'appareil de gravure sans sortir du  
25 cadre de l'invention. Les moyens optionnels de nettoyage des optiques vis à vis des débris de la source peuvent également être mécaniquement implantés sur l'appareil de nanolithographie.

L'appareil de nanolithographie de la figure  
30 6 comprend aussi un support 42 pour le substrat semiconducteur 44 que l'on veut traiter et qui est

recouvert d'une couche 46 de résine photosensible destinée à être insolée suivant un motif déterminé.

L'appareil comprend aussi :

- un masque 48 comprenant ce motif sous une  
5 forme agrandie,
- des optiques 50 prévues pour mettre en forme un rayonnement EUV référencé 52, issu du dispositif 40, et amener ce rayonnement 52 au masque 48 qui fournit alors une image du motif sous forme  
10 agrandie, et
- des optiques 54 prévues pour réduire cette image agrandie et projeter l'image réduite sur la couche 46 de résine photosensible.

Le support 42, le masque 48 et les optiques  
15 50 et 54 sont disposés dans une chambre à vide non représentée qui, par souci de simplification, est de préférence la chambre à vide dans laquelle on forme le rayonnement EUV d'insolation 52.

L'invention ne s'applique pas seulement à  
20 la lithographie, en vue de fabriquer des circuits intégrés à très haut degré d'intégration : le rayonnement EUV produit grâce à la présente invention a de nombreuses autres applications, notamment en science des matériaux et en microscopie.

25 En outre, l'invention n'est pas limitée au xénon. On peut utiliser d'autres gaz rares, tels que l'argon pour former le brouillard dense et produire le rayonnement EUV.

Cependant, pour la lithographie, il est  
30 préférable d'utiliser le xénon.

L'invention vise à la production de lumière EUV. Toutefois elle produit un grand nombre de raies allant du domaine visible aux rayons X mous, et peut être utilisée pour toutes les longueurs d'onde

5 produites.

**REVENDECATIONS**

1. Procédé de génération de lumière (30)  
dans l'extrême ultraviolet par création d'un plasma  
d'interaction entre un faisceau laser (24) et une  
5 cible, ce procédé étant caractérisé en ce que :

la cible est constituée d'un brouillard  
dense (20) composé de micro-gouttelettes de liquide, ce  
liquide étant un gaz rare liquéfié, en particulier le  
xénon liquide, on produit ce liquide par liquéfaction  
10 du gaz rare, on pressurise le liquide par ce gaz rare,  
à une pression comprise dans l'intervalle allant de  
 $5 \times 10^5$  Pa à  $50 \times 10^5$  Pa dans le cas du xénon, tout en  
maintenant ce xénon liquide à une température comprise  
dans l'intervalle allant de  $-70^\circ\text{C}$  à  $-20^\circ\text{C}$ , la pression  
15 et la température du gaz étant en outre choisies pour  
que le gaz rare soit sous forme liquide, on injecte le  
liquide ainsi pressurisé dans une buse (4) dont le  
diamètre intérieur minimal est compris dans  
l'intervalle allant de 60  $\mu\text{m}$  à 600  $\mu\text{m}$ , cette buse  
20 débouchant dans une zone où la pression est égale ou  
inférieure à  $10^{-1}$  Pa, et l'on engendre ainsi, dans la  
zone, à la sortie de la buse, un brouillard dense et  
directif de gouttelettes du gaz rare liquéfié dont la  
taille moyenne est supérieure à 1  $\mu\text{m}$ , en particulier  
25 comprise dans l'intervalle allant de 5  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$  dans  
le cas du xénon, ce brouillard dense formant un jet qui  
est dirigé suivant l'axe (X) de la buse, et

on focalise en outre un faisceau laser sur  
le brouillard dense ainsi obtenu, ce faisceau laser  
30 étant apte à interagir avec ce brouillard dense pour



engendrer une lumière dans le domaine extrême ultraviolet.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le gaz rare est le xénon et l'on pressurise le xénon liquide par le xénon gazeux à une pression comprise dans l'intervalle allant de  $15 \times 10^5$  Pa à  $25 \times 10^5$  Pa et l'on maintient ce xénon liquide à une température comprise dans l'intervalle allant de  $-45^\circ\text{C}$  à  $-30^\circ\text{C}$ .

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel le gaz rare est le xénon et l'on utilise la lumière engendrée dans le domaine extrême ultraviolet pour l'insolation d'un substrat (44) sur lequel est déposée une couche (46) de résine photosensible.

4. Dispositif de génération de lumière (30) dans l'extrême ultraviolet par création d'un plasma d'interaction entre un faisceau laser (24) et un brouillard dense (20) composé de micro-gouttelettes d'un liquide, ce dispositif étant caractérisé en ce que le liquide est un gaz rare liquéfié, en particulier le xénon liquide, et en ce que le dispositif comprend :

- un réservoir (2) destiné à contenir le liquide,
- des moyens (12) d'injection du gaz rare sous pression dans le réservoir, prévus pour pressuriser, par ce gaz rare, le liquide contenu dans le réservoir et soumettre ce liquide à une pression comprise dans l'intervalle allant de  $5 \times 10^5$  Pa à  $50 \times 10^5$  Pa dans le cas du xénon,

- des moyens (8) de production du liquide contenu dans le réservoir, par liquéfaction du gaz rare qui est injecté dans ce réservoir, le liquide, lorsque le gaz rare est le xénon, étant maintenu à une température comprise dans l'intervalle allant de -70°C à -20°C,
- une buse (4) dont le diamètre intérieur minimal est compris dans l'intervalle allant de 60  $\mu\text{m}$  à 600  $\mu\text{m}$  et qui est reliée au réservoir,
- une chambre à vide (14) contenant la buse,
- des moyens (28) permettant de faire pénétrer dans la chambre à vide un faisceau laser apte à interagir avec le brouillard,
- des moyens permettant de récupérer la lumière produite, en vue de l'utilisation de cette lumière, et
- des premiers moyens de pompage (16) prévus pour établir dans cette chambre à vide une première pression environ égale ou inférieure à  $10^{-1}$  Pa, les moyens d'injection et les moyens de production du liquide étant placés dans des conditions de fonctionnement maintenant le gaz rare liquide dans la buse et permettant d'engendrer, dans la chambre à vide, à la sortie de la buse, un brouillard dense et directif de gouttelettes du gaz rare liquéfié dont la taille moyenne est supérieure à 1  $\mu\text{m}$ , en particulier comprise dans l'intervalle allant de 5  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$  dans le cas du xénon, ce brouillard dense formant un jet qui est dirigé suivant l'axe (X) de la buse.

5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel le gaz rare est le xénon et la pression à laquelle est soumis le xénon liquide contenu dans le réservoir (2) est comprise dans l'intervalle allant de  
5  $15 \times 10^5$  Pa à  $25 \times 10^5$  Pa et la température à laquelle est maintenu le xénon liquide est comprise dans l'intervalle allant de  $-45^\circ\text{C}$  à  $-30^\circ\text{C}$ .

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, comprenant en outre :

10 - une paroi (38) qui délimite une zone secondaire et qui est pourvue d'un perçage en regard de la buse, ce perçage se trouvant sur l'axe (X) de cette buse, et

- des deuxièmes moyens de pompage (16a)  
15 prévus pour établir dans cette zone secondaire une deuxième pression supérieure à la première pression.

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel la paroi comporte un écorceur (32) dont l'axe coïncide avec l'axe (X) de la buse et dont  
20 l'orifice constitue le perçage de la paroi.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, comprenant en outre un écran thermique (39) qui est percé en regard de la buse pour laisser passer le jet formé par le brouillard dense.

25 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel la résistivité du matériau constitutif de la buse (4) est supérieure ou égale à  $10^8 \Omega.\text{cm}$ , la conductivité thermique de ce matériau est supérieure ou égale à  $40 \text{ W/mK}$  et l'indice  
30 de dureté Vickers du matériau est supérieure ou égale à  $8000 \text{ N/mm}^2$ .

10. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel le matériau est une céramique.

11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel la céramique est du nitrure d'aluminium.

5 12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 11, comprenant en outre un collecteur apte à diriger ou à focaliser la lumière engendrée, vers des moyens d'utilisation de cette lumière.

10 13. Dispositif selon la revendication 12, dans lequel le collecteur comporte au moins un réflecteur concave.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 13, comprenant en outre des moyens  
15 de protection des optiques susceptibles d'être contenues dans le dispositif, vis-à-vis d'éventuels débris.

15. Dispositif selon la revendication 14, dans lequel ces moyens de protection sont des moyens de  
20 circulation du gaz rare de la chambre à vide devant la surface de ces optiques qui est exposée à ces débris.

16. Dispositif selon la revendication 14, dans lequel ces moyens de protection sont des moyens de chauffage de la surface de ces optiques qui est exposée  
25 à ces débris.

17. Dispositif selon la revendication 14, dans lequel ces moyens de protection sont des moyens de polarisation positive d'une couche métallique que comportent ces optiques.

30 18. Appareil de lithographie de substrats semiconducteurs, cet appareil comprenant :

- des moyens (48) de support d'un substrat semiconducteur (44) sur lequel est déposée une couche de résine photosensible (46) qui est destinée à être insolée suivant un motif déterminé,
- 5           - un masque (48) comprenant le motif déterminé sous une forme agrandie,
- un dispositif de génération de lumière dans le domaine extrême ultraviolet conforme à l'une quelconque des revendications 4 à 17,
- 10           - des moyens optiques (50) de transmission de la lumière au masque, ce dernier fournissant une image du motif sous forme agrandie, et
- des moyens optiques (54) de réduction de cette image et de projection de l'image réduite sur la
- 15   couche de résine photosensible.

1 / 5

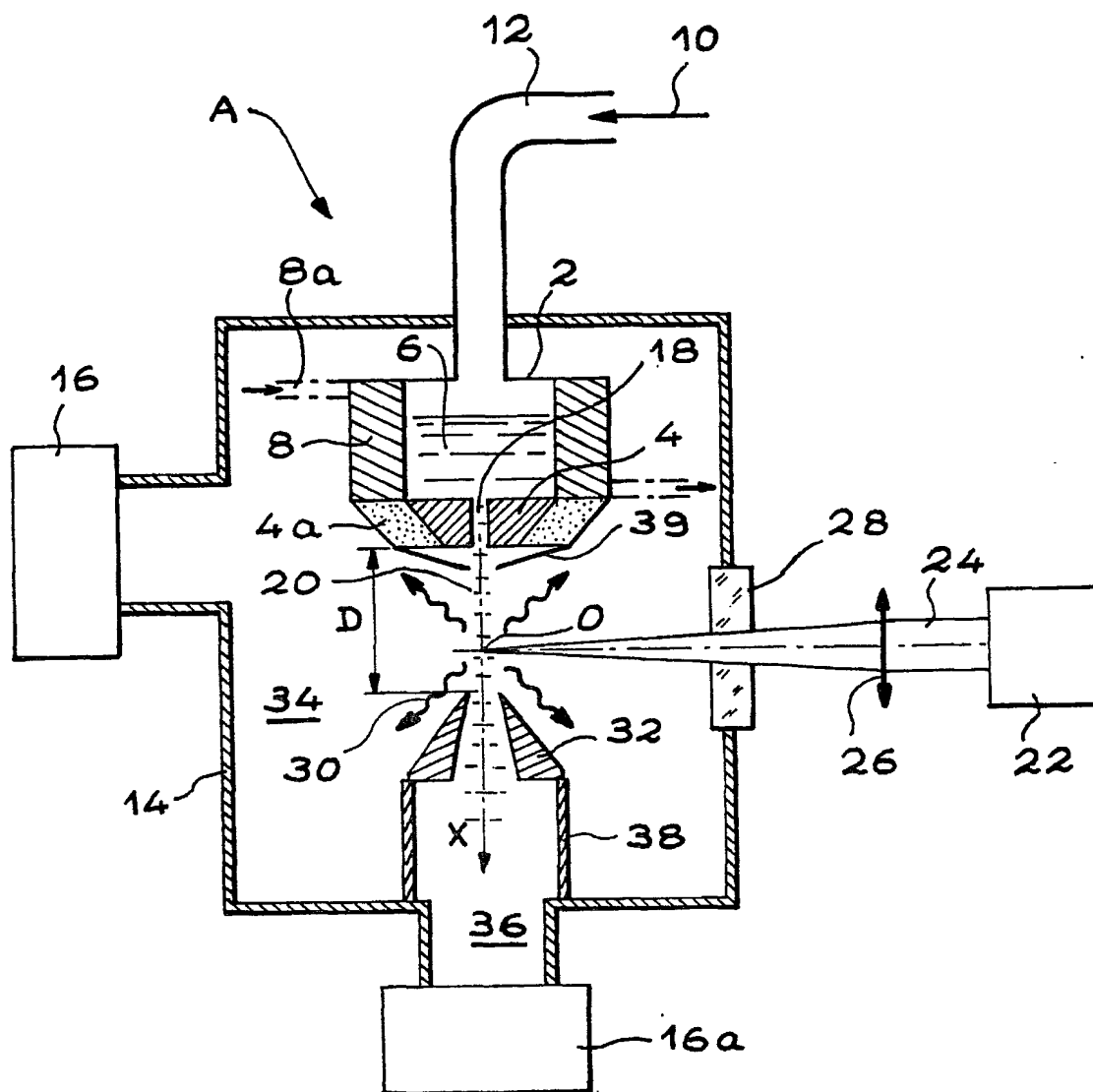


FIG. 1

2 / 5

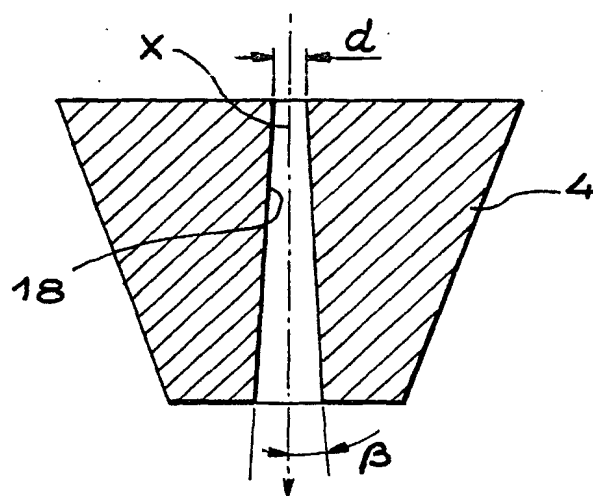


FIG. 2

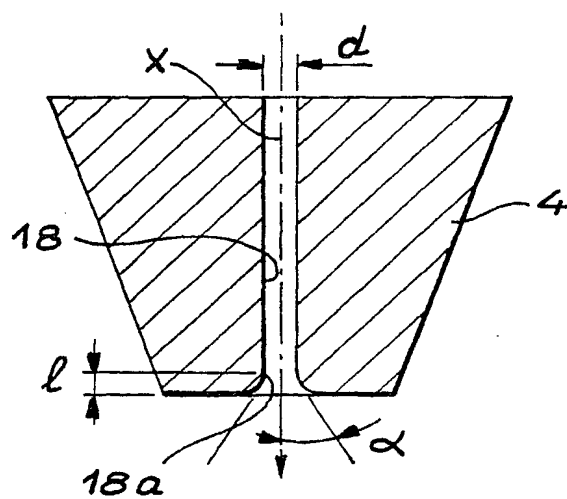


FIG. 3

3 / 5

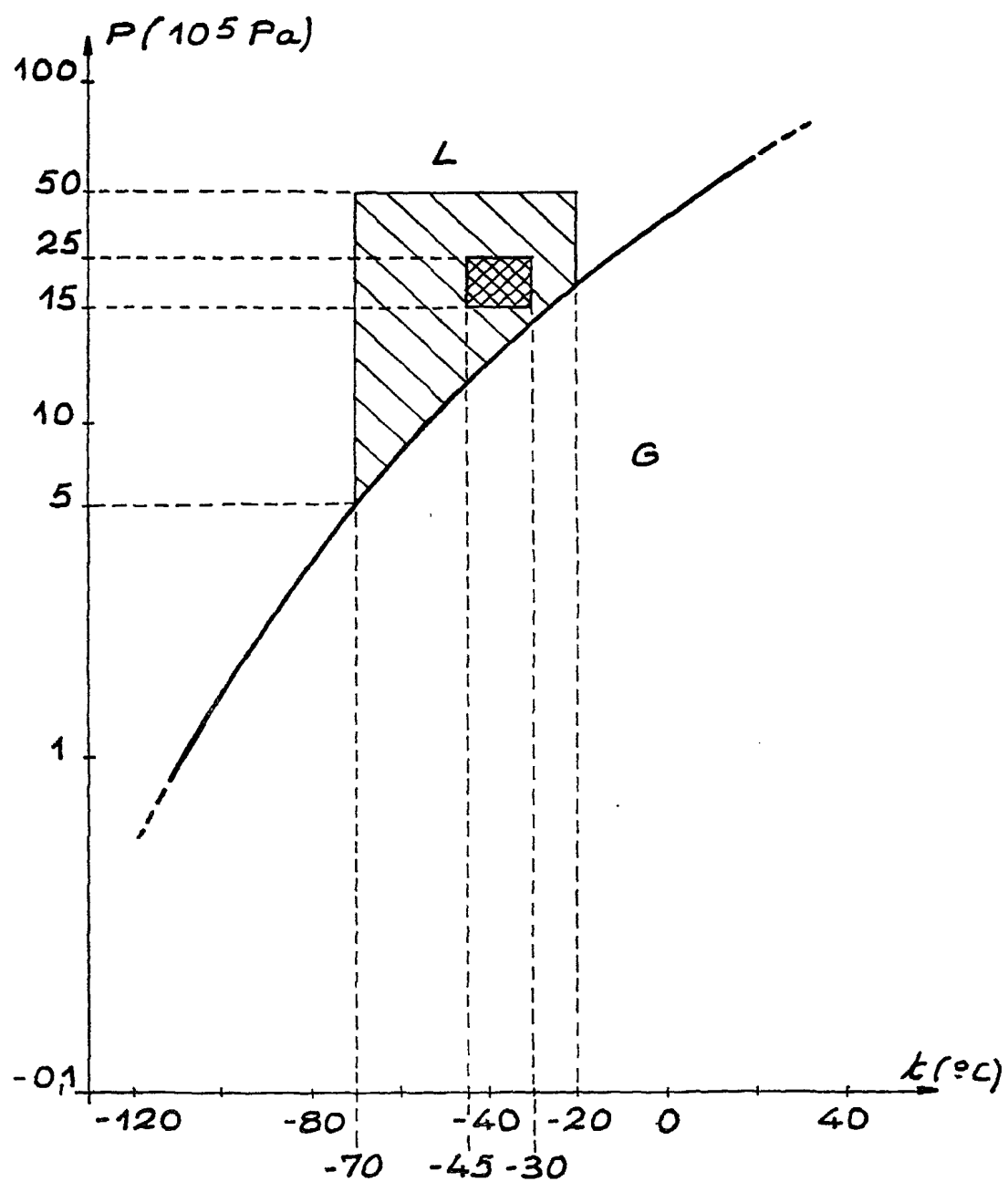


FIG. 4



4 / 5

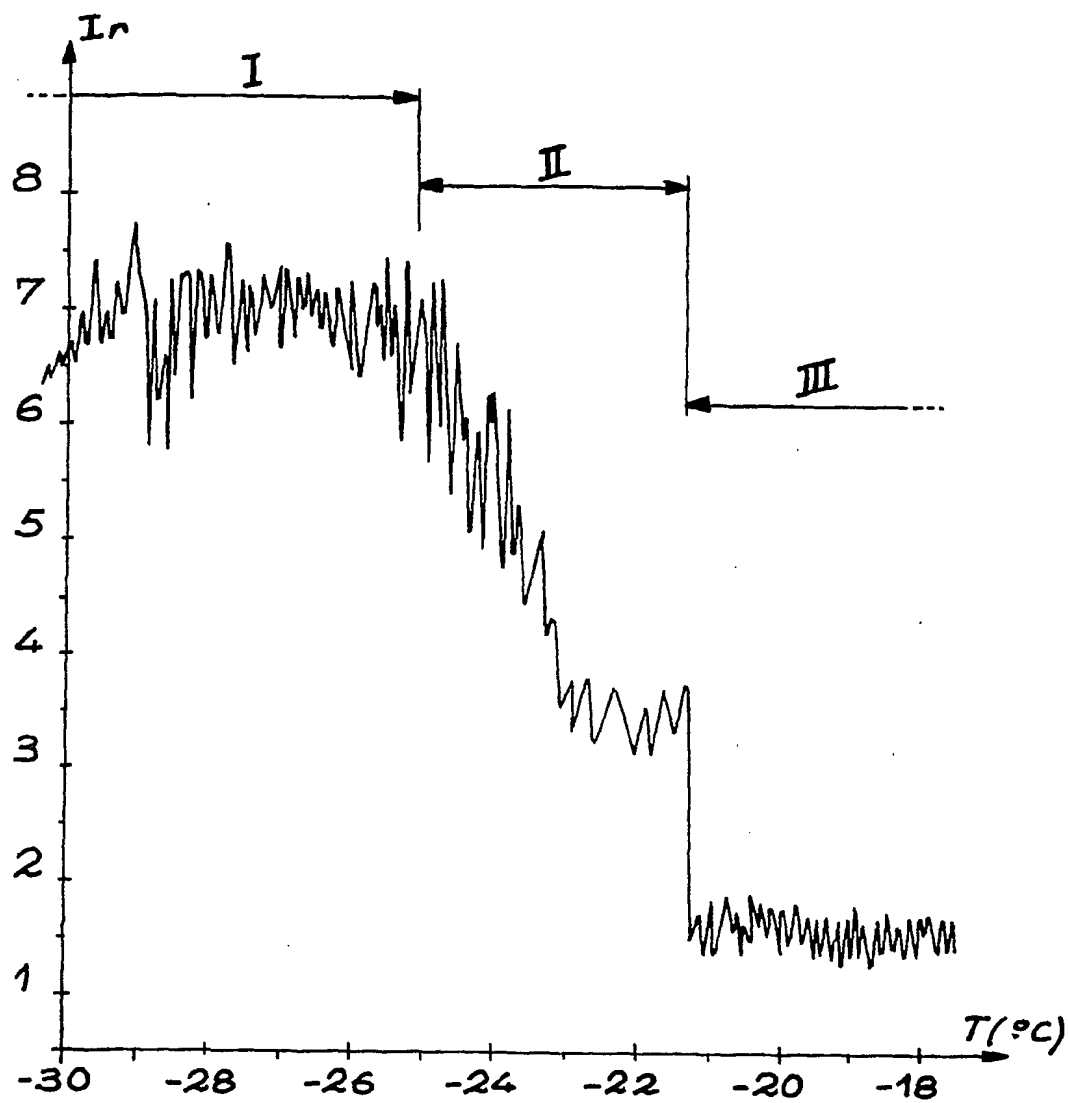


FIG. 5

5 / 5

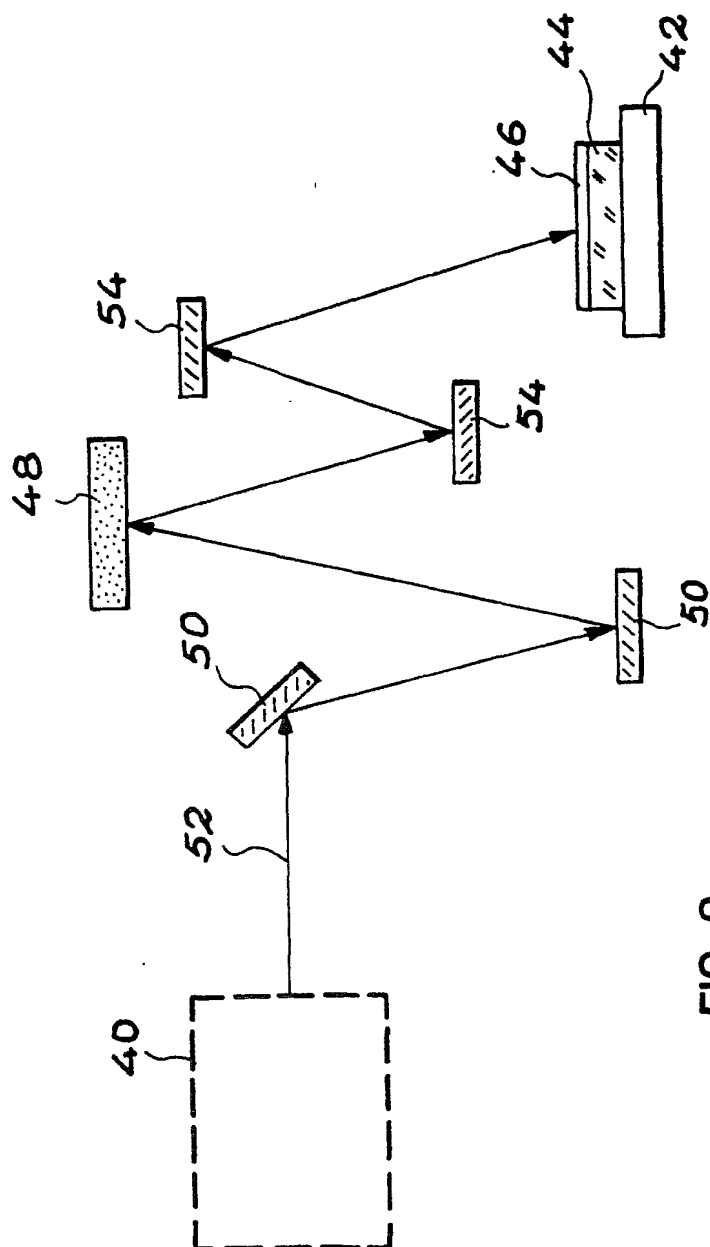


FIG. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 02/01306

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H05G2/00

According to international Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H05G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 002 744 A (RYMELL LARS ET AL) 14 December 1999 (1999-12-14)	1, 4, 18
Y	column 4, line 4 - line 20	6-8, 12-17
X	----- HANSSON B A M ET AL: "A Liquid-Xenon-Jet Laser-Plasma X-Ray and EUV Source" MICROELECTRONIC ENGINEERING, ELSEVIER PUBLISHERS BV., AMSTERDAM, NL, vol. 53, no. 1-4, June 2000 (2000-06), pages 667-670, XP004237859 ISSN: 0167-9317 page 668, column 1, line 26 -column 2, line 1	1-5, 18
P, X	----- FR 2 799 667 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 20 April 2001 (2001-04-20) the whole document	1, 4, 18
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&amp;\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 July 2002

Date of mailing of the international search report

05/08/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Oestreich, S

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intel onal Application No

PCT/FR 02/01306

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 99 56521 A (AMERICAN TECH GROUP) 11 November 1999 (1999-11-11) page 16, line 2 -page 17; figure 6 ----	6-8
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 07, 29 September 2000 (2000-09-29) & JP 2000 098094 A (NIKON CORP), 7 April 2000 (2000-04-07) abstract ----	12,13
A	EP 0 858 249 A (HITACHI LTD) 12 August 1998 (1998-08-12) column 7, line 45 - line 49; figure 1 ----	6,7
A	US 6 031 241 A (SHIMKAVEG GREGORY M ET AL) 29 February 2000 (2000-02-29) column 4, line 44 - line 55 ----	9,10
Y	US 4 692 934 A (FORSYTH JAMES M) 8 September 1987 (1987-09-08) column 4, line 46 -column 5, line 12; figure 4 -----	14-17

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 02/01306

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6002744	A	14-12-1999	SE 510133 C2	19-04-1999
			AU 2720797 A	12-11-1997
			DE 895706 T1	13-06-2001
			EP 0895706 A1	10-02-1999
			JP 2000509190 T	18-07-2000
			SE 9601547 A	26-10-1997
			WO 9740650 A1	30-10-1997
FR 2799667	A	20-04-2001	FR 2799667 A1	20-04-2001
			AU 7801900 A	30-04-2001
			EP 1222842 A1	17-07-2002
			WO 0130122 A1	26-04-2001
WO 9956521	A	11-11-1999	EP 1082727 A2	14-03-2001
			JP 2002514740 T	21-05-2002
			WO 9956521 A2	11-11-1999
JP 2000098094	A	07-04-2000	NONE	
EP 0858249	A	12-08-1998	JP 10221499 A	21-08-1998
			AU 5273298 A	13-08-1998
			CA 2229170 A1	07-08-1998
			EP 0858249 A1	12-08-1998
			TW 393662 B	11-06-2000
			US 5991360 A	23-11-1999
US 6031241	A	29-02-2000	US 5963616 A	05-10-1999
			AU 1946599 A	19-07-1999
			CA 2315740 A1	08-07-1999
			CN 1306673 T	01-08-2001
			EP 1051727 A1	15-11-2000
			WO 9934395 A1	08-07-1999
			US 6232613 B1	15-05-2001
			US 6188076 B1	13-02-2001
US 4692934	A	08-09-1987	AT 45246 T	15-08-1989
			CA 1246759 A1	13-12-1988
			DE 3572082 D1	07-09-1989
			EP 0174877 A2	19-03-1986
			JP 1880757 C	21-10-1994
			JP 6005611 B	19-01-1994
			JP 61179046 A	11-08-1986

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der e Internationale No

PCT/FR 02/01306

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H05G2/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H05G

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 6 002 744 A (RYMELL LARS ET AL) 14 décembre 1999 (1999-12-14)	1, 4, 18
Y	colonne 4, ligne 4 - ligne 20	6-8, 12-17
X	--- HANSSON B A M ET AL: "A Liquid-Xenon-Jet Laser-Plasma X-Ray and EUV Source" MICROELECTRONIC ENGINEERING, ELSEVIER PUBLISHERS BV., AMSTERDAM, NL, vol. 53, no. 1-4, juin 2000 (2000-06), pages 667-670, XP004237859 ISSN: 0167-9317 page 668, colonne 1, ligne 26 -colonne 2, ligne 1	1-5, 18
P, X	--- FR 2 799 667 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 20 avril 2001 (2001-04-20) le document en entier --- -/--	1, 4, 18

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

\*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

\*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

\*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

\*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

\*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

23 juillet 2002

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

05/08/2002

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Oestreich, S

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Derl e Internationale No

PCT/FR 02/01306

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 99 56521 A (AMERICAN TECH GROUP) 11 novembre 1999 (1999-11-11) page 16, ligne 2 -page 17; figure 6 ----	6-8
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 07, 29 septembre 2000 (2000-09-29) & JP 2000 098094 A (NIKON CORP), 7 avril 2000 (2000-04-07) abrégé ----	12,13
A	EP 0 858 249 A (HITACHI LTD) 12 août 1998 (1998-08-12) colonne 7, ligne 45 - ligne 49; figure 1 ----	6,7
A	US 6 031 241 A (SHIMKAVEG GREGORY M ET AL) 29 février 2000 (2000-02-29) colonne 4, ligne 44 - ligne 55 ----	9,10
Y	US 4 692 934 A (FORSYTH JAMES M) 8 septembre 1987 (1987-09-08) colonne 4, ligne 46 -colonne 5, ligne 12; figure 4 -----	14-17

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Der Internationale No

PCT/FR 02/01306

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6002744	A	14-12-1999	SE 510133 C2 AU 2720797 A DE 895706 T1 EP 0895706 A1 JP 2000509190 T SE 9601547 A WO 9740650 A1	19-04-1999 12-11-1997 13-06-2001 10-02-1999 18-07-2000 26-10-1997 30-10-1997
FR 2799667	A	20-04-2001	FR 2799667 A1 AU 7801900 A EP 1222842 A1 WO 0130122 A1	20-04-2001 30-04-2001 17-07-2002 26-04-2001
WO 9956521	A	11-11-1999	EP 1082727 A2 JP 2002514740 T WO 9956521 A2	14-03-2001 21-05-2002 11-11-1999
JP 2000098094	A	07-04-2000	AUCUN	
EP 0858249	A	12-08-1998	JP 10221499 A AU 5273298 A CA 2229170 A1 EP 0858249 A1 TW 393662 B US 5991360 A	21-08-1998 13-08-1998 07-08-1998 12-08-1998 11-06-2000 23-11-1999
US 6031241	A	29-02-2000	US 5963616 A AU 1946599 A CA 2315740 A1 CN 1306673 T EP 1051727 A1 WO 9934395 A1 US 6232613 B1 US 6188076 B1	05-10-1999 19-07-1999 08-07-1999 01-08-2001 15-11-2000 08-07-1999 15-05-2001 13-02-2001
US 4692934	A	08-09-1987	AT 45246 T CA 1246759 A1 DE 3572082 D1 EP 0174877 A2 JP 1880757 C JP 6005611 B JP 61179046 A	15-08-1989 13-12-1988 07-09-1989 19-03-1986 21-10-1994 19-01-1994 11-08-1986